

Interreg Caraïbes



Fonds européen de développement régional

VERSION 3.2 JUILLET 2021

SARG'COOP

Programme caribéen de coopération de
lutte contre les algues sargasses

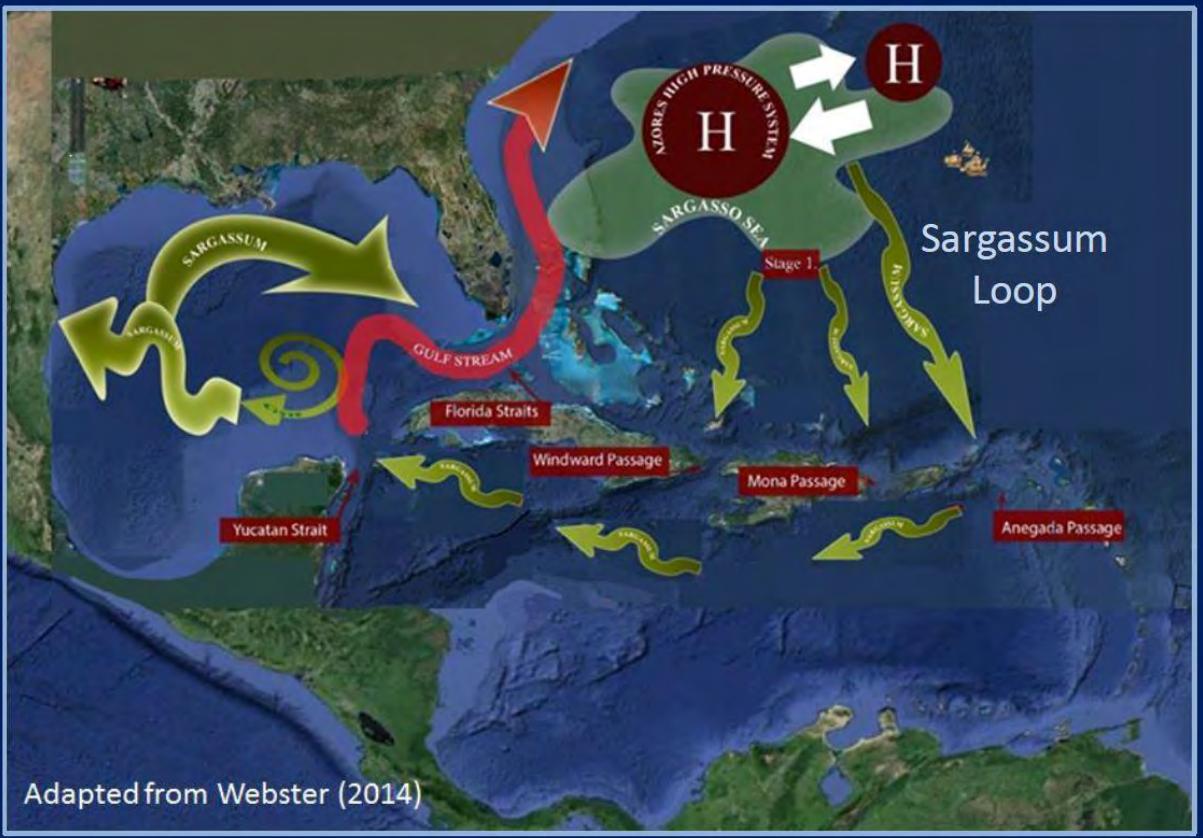
DE L'USAGE DE LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE DANS LA SURVEILLANCE DES BANCS DE **SARGASSES**

ÉTAT DES LIEUX



Table des matières

Le contexte	4
Les principes de la surveillance des sargasses	5
Résumé	5
Les composants d'un système de surveillance des sargasses	5
Du pixel à l'alerte, les étapes de la surveillance et de la prévision	6
La détection des sargasses en pleine mer (où sont les sargasses ?)	6
La prévision (vers où dérivent les sargasses et à quelle vitesse ?)	7
L'alerte (Où et quand vont-elles échouer ? Comment se préparer ?)	8
Les dispositifs existants ou en construction	10
SaWS	10
SEAS	Error! Bookmark not defined.
Sargassum sub-regional outlook bulletin	12
Météo France	13
SAMTool (CLS)	14
SATsum	15
Sargassum Information Hub	16
Principaux enjeux et limites de la télédétection dans la surveillance des sargasses	17
Nuages, nuages...	17
Le radar : un potentiel à étudier	17
Une détection encore imparfaite	17
Une quantification insuffisante	17
Une descente d'échelle complexe	17
Des modèles de dérive à améliorer	18
Des incertitudes qui se propagent	19
La nécessaire automatisation	19
La diffusion d'une information opérationnelle	19
Quelques travaux de recherche récents	21
Les principaux sujets de recherche	21
Projet CESAR	22
FORESEA	22
SASAMS (Satellite Sargassum Monitoring System)	23
Collective View	24
Sargassum Watch	24
Sarg'Adapt	25
SARTRAC :	25
Conclusions	26
En pleine mer	26
Le long des côtes	26



Déplacement général des sargasses (image présentée par Hazel A. Oxenford à Sargassum 2019)

Le contexte

Depuis 2011, des bancs de sargasses s'échouent massivement et régulièrement sur les côtes du bassin caribéen, du golfe du Mexique et d'Afrique de l'Ouest. Ces échouements perturbent la dynamique, la biodiversité, la vie économique (tourisme et pêche notamment) et peuvent induire un risque sanitaire pour les personnes en contact direct avec les algues en décomposition. Même si les recherches se poursuivent pour comprendre la raison de cette recrudescence des sargasses, leur détection et leur surveillance au large des côtes sont assez bien maîtrisées grâce à l'accès à des images satellitaires qui permettent d'anticiper et de suivre leurs déplacements.

Mais des progrès restent à faire pour que l'ensemble des acteurs territoriaux, gouvernementaux ainsi que tous ceux qui doivent prendre des décisions en rapport avec l'arrivée de bancs de sargasse bénéficient d'un véritable système de prévision et d'alerte sur l'ensemble du bassin caribéen. C'est pourquoi le programme Caribéen de coopération de lutte contre les algues sargasses (SARG'COOP) comprend un groupe thématique dédié à la mise en place d'un réseau mutualisé de surveillance des algues par satellite.

Ce bref état des lieux propose une première synthèse des techniques disponibles et des dispositifs de surveillance existants ou ayant existé, ainsi que des travaux de recherche en cours. Il pose enfin un certain nombre de questions qui sont autant de pistes de réflexion pour le groupe de travail.



En octobre 2019, les partenaires de SARG'COOP ont organisé une réunion de lancement du programme qui a permis d'actualiser l'inventaire des acteurs concernés et de faire le point sur l'état des connaissances en matière de sargasses sur la grande Caraïbe.

Plus d'informations sur <https://www.sargassum2019.com/>

Les principes de la surveillance des sargasses

Résumé

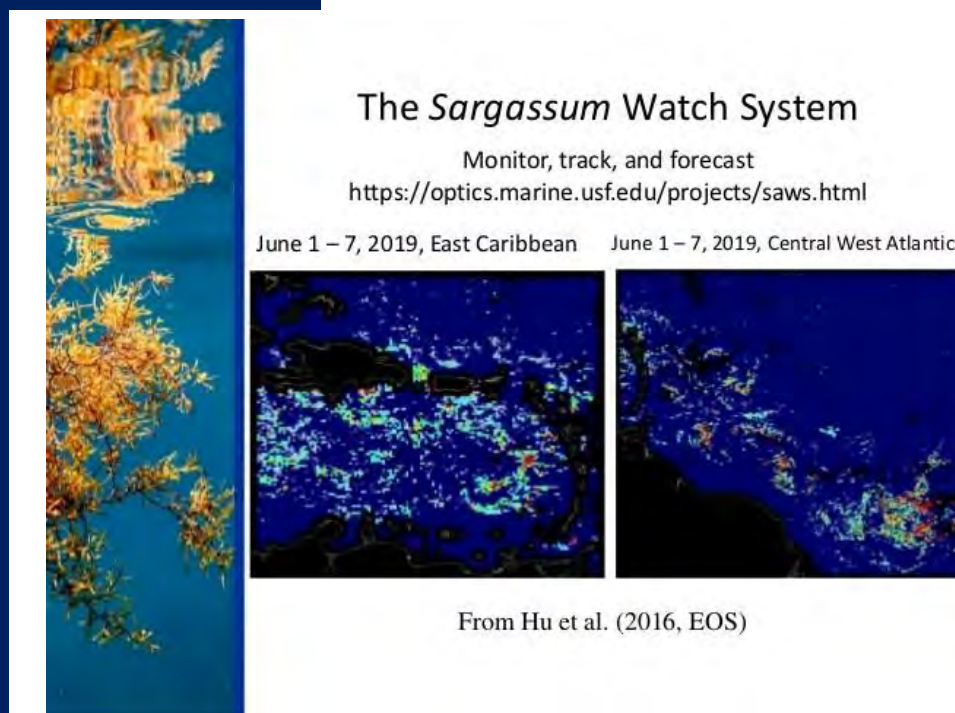
Les recherches sur la détection et la localisation des bancs de sargasses par télédétection satellitaire ont commencé dès les années 2000.

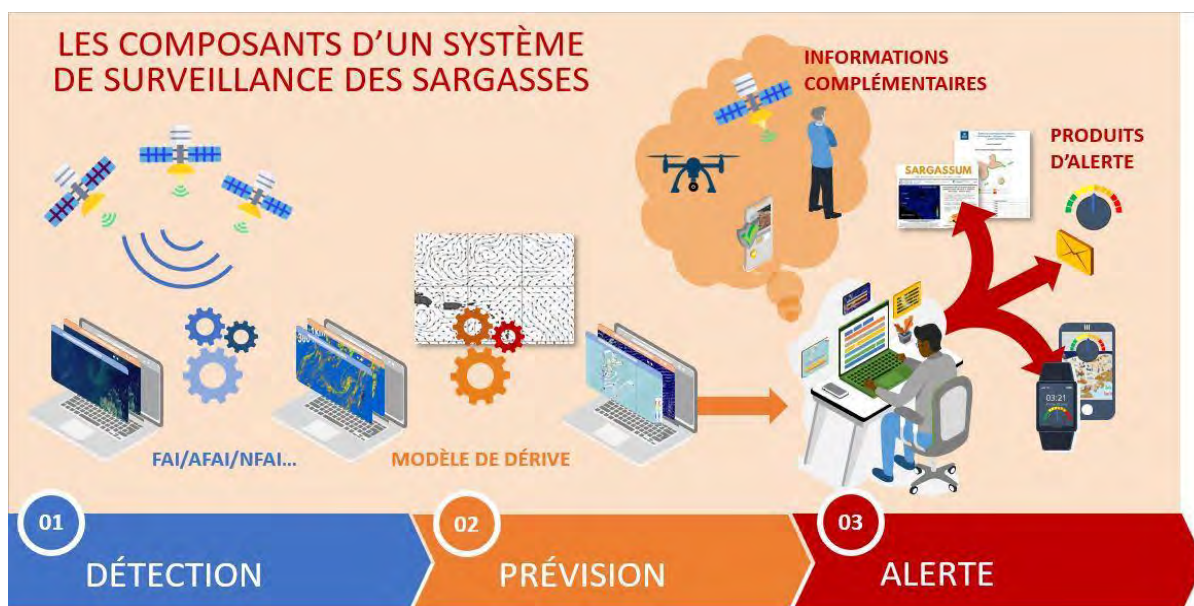
Chuanmin Hu de l'Université de Floride du Sud (USF) a publié ses premiers travaux en 2009. Il a mis au point une chaîne de traitement automatique des images reçues chaque jour depuis des satellites à faible résolution spatiale sur l'Océan Atlantique, permettant d'extraire les pixels contenant des sargasses (indice FAI : Floating Algae index), formant des bancs au large des côtes.

En appliquant un modèle de dérive prenant en compte les courants de surface et les vents, les chercheurs ont montré qu'il était alors possible d'effectuer des prévisions de déplacement des bancs de sargasses sur plusieurs jours, jusqu'à leur arrivée à proximité des côtes.

Cette méthodologie s'est progressivement affinée (elle continue à faire l'objet de travaux de recherches) et a permis de mettre en place des bulletins de prévisions généraux par grandes zones. Aujourd'hui, les spécialistes de la télédétection s'appuient sur une famille de plus en plus étendue de satellites.

Des centres de recherches, des universités, des centres météorologiques, des comités consultatifs et des groupes organisés travaillent à compléter ces méthodes afin de générer des bulletins plus locaux, permettant de préciser les risques d'échouements sur les côtes à quelques jours et de prendre les décisions nécessaires. Ils exploitent ces prévisions à régionales en les complétant par des observations directes telles que des inspections sur le terrain, des photographies au sol ou acquises par hélicoptère, avion ou drone, ainsi qu'en utilisant des images satellites à plus haute résolution (de l'ordre de 15 mètres) acquises près des côtes.





Les principes de la surveillance des sargasses

Du pixel à l'alerte, les étapes de la surveillance et de la prévision

La surveillance des sargasses se fait donc en 3 grandes étapes :

La détection des sargasses en pleine mer (où sont les sargasses ?)

Cette première étape s'appuie sur les satellites à basse ou moyenne résolution (pixels de 300 m à 1 km de côté) qui captent chaque jour des images de l'ensemble du globe. En combinant différentes longueurs d'onde (dans le spectre visible et dans le moyen infrarouge), il est possible de mettre en évidence les changements de couleur de l'eau qui correspondent à des bancs de sargasse (indices FAI, NFAI et AFAI) sur de vastes zones. En mesurant le taux de présence de sargasses par pixel, les algorithmes peuvent localiser de petits amas groupés de sargasses et pas uniquement les grands bancs continus. Mais ces satellites optiques peuvent être gênés par la présence récurrente de nuages dans la zone d'éclosion des sargasses.

Comme ces satellites à basse/moyenne résolution font des acquisitions quotidiennes, si la couverture nuageuse le permet, il est possible de suivre l'évolution des bancs de sargasse. Cela implique de faire le rapprochement entre un banc identifié à T0 et le même banc, qui peut avoir changé de forme à T1, T2, etc. Les opérateurs de systèmes produisent également des synthèses hebdomadaires de toutes les zones sur lesquelles les sargasses ont été détectées.

Quelques satellites utilisés pour la détection de sargasses:

Capteurs	Bandes spectrales	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Zone couverte	Satellite	Opérateur
MODIS	36	250 m à 1 km	Quotidienne	Toute la	Aqua et	NASA/EOS

(2)		selon les bandes spectrales		zone	Terra	
VIIRS (2)	22	750 à 375 m selon les bandes spectrales	Quotidienne	Toute la zone	NOAA-20 et SUOMI-NPP	NASA/NOAA
OLCI (2)	21	300 m	Quotidienne	Toute la zone	Sentinel-3A et B	ESA/Copernicus
OLI	9	15 ou 30 m selon les bandes spectrales	16 jours	Proche des côtes	Landsat-8	NASA/USGS
MSI (2)	13	10 ou 20 m selon les bandes spectrales	5 jours	Proche des côtes	Sentinel-2A et 2B	ESA-Copernicus

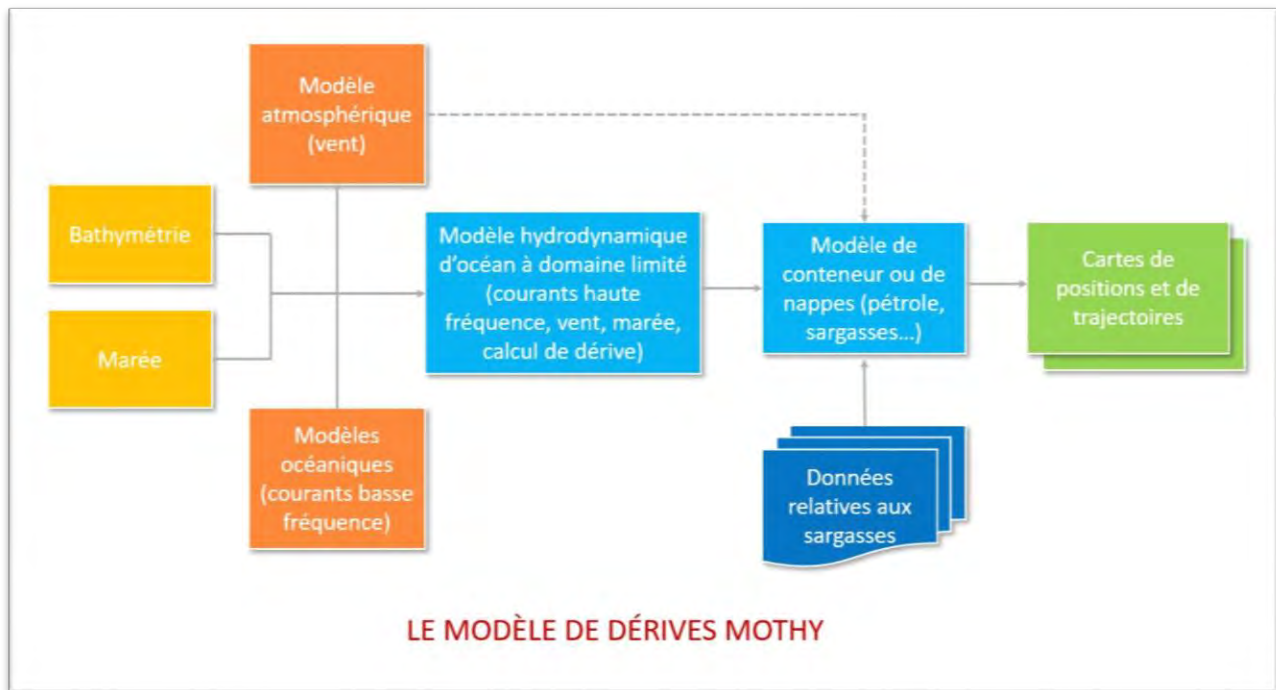
La prévision (vers où dérivent les sargasses et à quelle vitesse ?)

En appliquant un modèle de dérive sur les pixels contenant des sargasses, il est possible de prévoir la direction des bancs de sargasse ainsi que leur vitesse de déplacement. Ces modèles de dérive prennent en compte les connaissances et prévisions de courants de surface et de vents (météorologie). C'est la même technique qui est utilisée dans les programmes de recherche et secours ou dans la détection de pollutions. En réglant différemment le « poids » des vents et des courants, il est possible de prévoir les déplacements de containers tombés en mer, de naufragés lors de courses au large ou de nappes de pétrole. Les prévisions peuvent être effectuées à différents horizons (quelques jours, quelques semaines, quelques mois) avec une précision qui décroît rapidement au fur et à mesure que la fenêtre temporelle s'étire.

Plusieurs modèles sont utilisés :

- HYCOM : modèle de courants de surfaces
- OSCAR : modèle de courants de surfaces océaniques
- MERCATOR : modèle de courants de surfaces fourni dans le cadre du programme Mercator Ocean de Copernicus
- MOTHY : modèle de dérive conçu et exploité par Météo France qui exploite le modèle de courants MERCATOR et le modèle de vents IFS (Centre Européen de Prévision).
- MOBIDRIFT : modèle de dérive conçu par CLS





Les composantes du modèle de dérives MOTHY (D'après la présentation d'Yves Gregoris à Sargassum 2019)

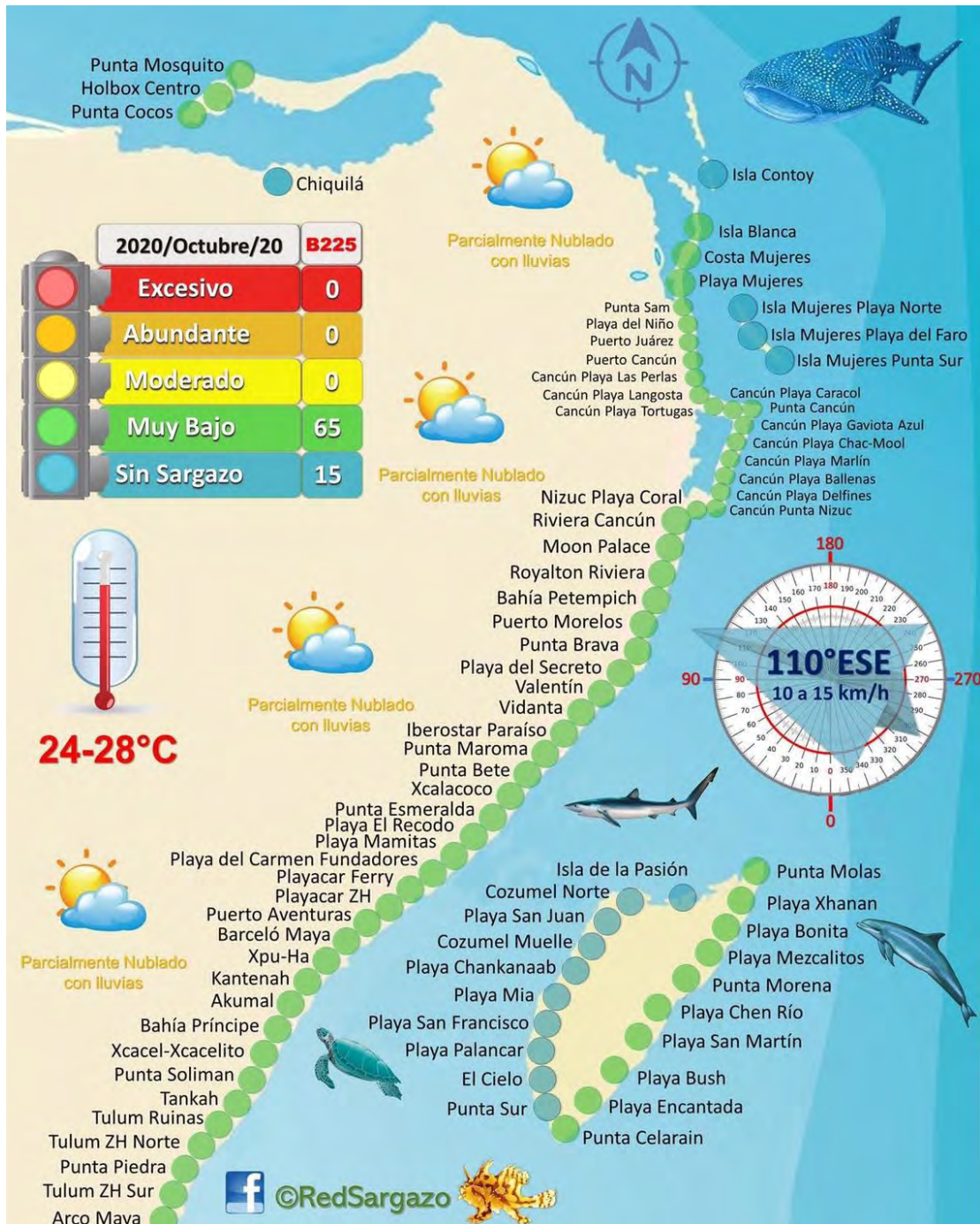
L'alerte (Où et quand vont-elles échouer ? Comment se préparer ?)

Le risque d'échouement est calculé à partir de la trajectoire prévisible (dérive) et du nombre de nappes dérivantes concernées. Mais le calcul précis du risque ne s'appuie pas que sur les résultats de la prévision (étape précédente). Il fait également appel aux observations locales (réseaux de caméras de surveillance, missions ponctuelles d'observation par hélicoptère, remontées bénévoles, visites des lieux d'échouement, savoir local sur les courants et l'évolution météorologique...). Il peut en outre s'appuyer sur des données satellitaires complémentaires acquises à proximité des côtes (satellites à moyenne et haute résolution spatiale tels que Sentinel-2). Mais les indices FAI/NFAI fonctionnent moins bien à proximité des côtes car ils révèlent avant tout la charge en matières organiques des eaux de surface, qui peut contenir autre chose que des sargasses. Des démonstrateurs sont en cours pour trouver les bons algorithmes de détection sur des images à haute résolution près des côtes. De même, les modèles de dérives ne peuvent pas être appliqués car ils sont inopérants à proximité des côtes. Des travaux de recherche sont en cours dans ce domaine également.

Dans cette phase, l'expertise humaine est fondamentale.

Des bulletins d'alerte sont également produits à partir des observations directes des échouements sur les plages, ils n'ont plus de dimension prédictive mais décrivent, le plus "en temps réel" possible, la situation en cours. À ce niveau, les observations satellitaires confirment ce qui est observé par ailleurs (signalements via des messages sur les réseaux sociaux, des photos, des webcams, des visites de terrain...) ou permettent de compléter l'information là où il n'y a pas d'observation.

Les modes de représentation et de transmission des informations précises sur le risque font l'objet de recherches et d'expérimentations. Des bulletins en PDF facilement diffusables sont ainsi produits depuis plusieurs années par Météo France et ses partenaires sur les Antilles françaises. La RED de Monitoreo del Sargazo de Quintana Roo, groupe de volontaires professionnels publie deux fois par semaine sur Facebook (@RedSargazo) des cartes "météo des sargasses". Aujourd'hui, il n'existe pas encore d'application simple de type « météo des sargasses », mais le sujet est à l'étude.



Exemple de bulletin produit par le RED de Monitoreo

Les dispositifs existants ou en construction

SaWS

<https://optics.marine.usf.edu/projects/saws.html>

Bulletins NOAA : https://www.aoml.noaa.gov/phod/sargassum_inundation_report/

Sargassum Watch System (SaWS) est un portail développé par le laboratoire d'océanographie optique de l'université de Floride du Sud (USF), financé par la NASA. Il est le fruit du travail de Chuanmin Hu et de ses collègues, précurseurs dans la télédétection automatique des bancs de sargasses.

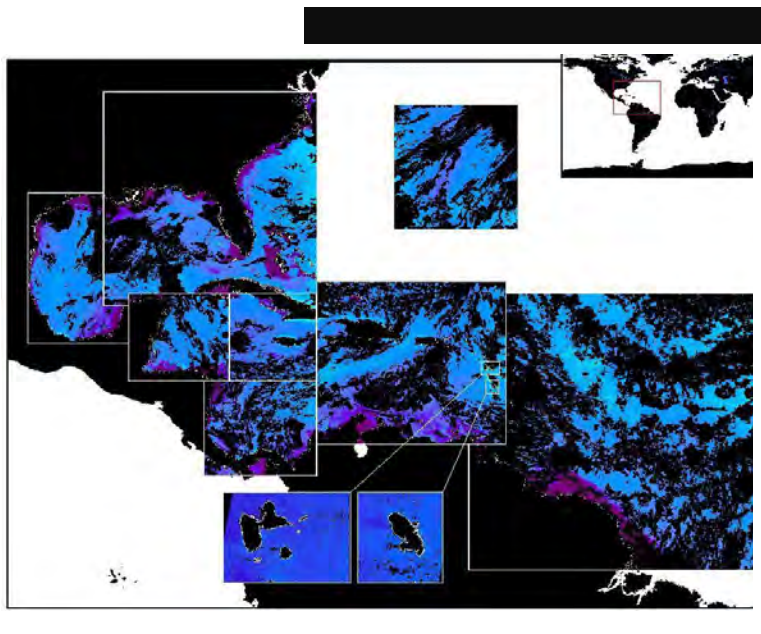
Les données sont acquises quotidiennement (MODIS, VIIRS) et combinées au modèle de courants HYCOM pour produire des images qui donnent une idée générale de la localisation et des volumes de sargasses ainsi que sur leurs déplacements à court terme.

Le portail SaWS propose des produits images et des bulletins mensuels de prévision d'échouement sur l'ensemble du golfe du Mexique, des Caraïbes et de la zone tropicale de l'Atlantique, divisé en zones. Le bulletin est envoyé par mail à une liste de contacts depuis février 2018. Les produits images sont intégrables dans Google Earth (format KML).

Les bulletins restent assez globaux mais peuvent être complétés par des analyses locales pour produire des informations plus précises ou pour l'aide à la décision.

La NOAA produit ses propres bulletins hebdomadaires à l'aide des données produites par SaWS. Les synthèses FAI y sont présentées sur fond de grands courants et les prévisions sont calculées grâce à des méthodes statistiques. Ces bulletins (qui restent globaux et fournis sous forme Web, PDF et GEOJSON) sont à leur tour utilisés par des associations régionales comme CARICOOS

(https://www.caricoos.org/oceans/observation/modis_aqua/ECARIBE/afai)



par l'Univers... du Texas

A&M à Galveston (TAMUG) depuis 2013. C'est avant tout une plateforme expérimentale, financée sur fonds propres de l'université.

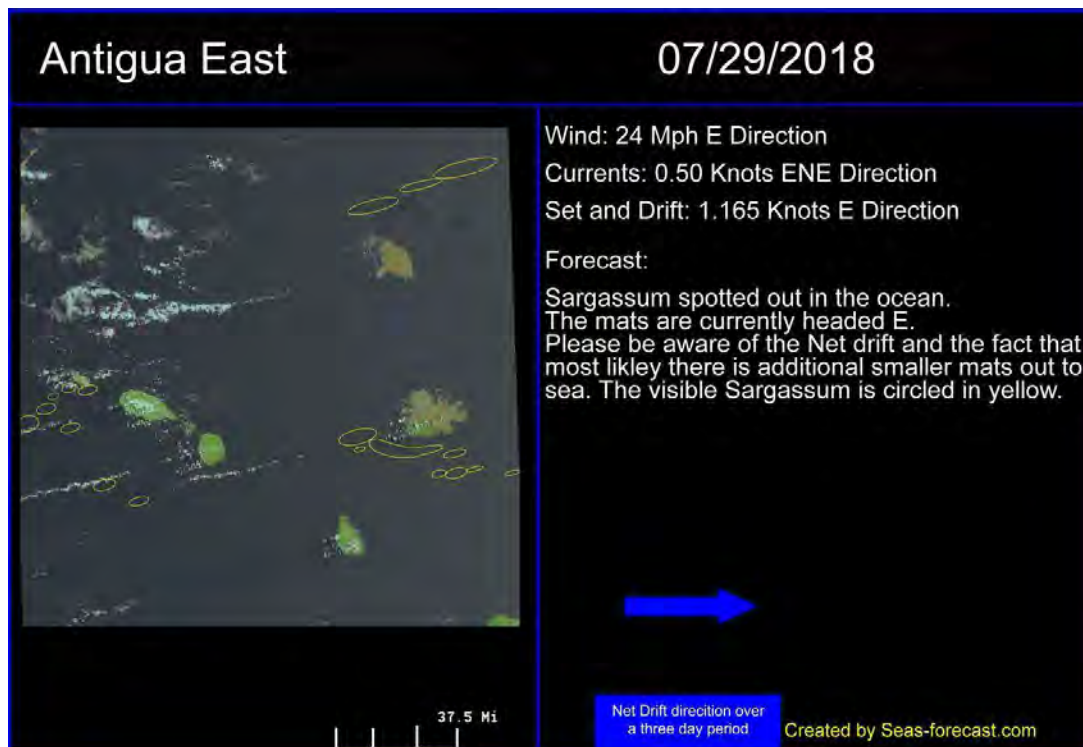
SEAS s'appuie sur le traitement visuel d'images Landsat 8 pour dessiner le contour des bancs de sargasses proches des côtes, sur une trentaine de petites zones dans le Golfe du Mexique et dans les Caraïbes.

Un « bulletin » est émis chaque fois qu'une image Landsat peut être analysée visuellement. L'image est ensuite publiée sur le site avec une indication de courant pour les 3 jours à venir, via l'information récupérée sur le site EarthNullSchool sous forme d'une simple flèche.

Le fonctionnement est très simple, peu automatisé (une analyse d'image prend 10 minutes) et s'appuie simplement sur un développement en Python pour récupérer les images.

La plateforme est utilisée par des hôtels, des gîtes car le contenu publié est très simple.

Le portail SEAS référence également quelques webcams de plage.



Sargassum sub-regional outlook bulletin

<https://www.cavehill.uwi.edu/cermes/projects/sargassum/outlook-bulletin.aspx>

Les Sargassum sub-regional outlooks sont produits par le CERMES (Université des Indes Occidentales, Campus de Cave Hill, La Barbade) en collaboration avec l'université du Sud du Mississippi depuis 2017, initialement grâce à un financement de la FAO via le projet CC4FISH (aujourd'hui financés dans le cadre du programme [SargAdapt](#)). Ces bulletins bimestriels en anglais sont le fruit d'un travail de recherche pour produire des informations de situation exploitables par des publics non scientifiques : décideurs publics et acteurs économiques. Ils couvrent l'Est Caribéen et résument l'actualité sargasses en 2 pages. Ils contiennent un index synthétique de risque, des images satellites, des graphiques par grandes régions (Nord, Centre et Sud des Caraïbes) indiquant l'évolution des volumes échoués (années précédentes), des recommandations et référence d'autres ressources. Ils s'appuient sur les données publiées par SaWS et CLS, et restent à une échelle globale.

Ils ne sont qu'une partie des nombreux travaux du CERMES sur la sensibilisation, l'information et la mobilisation des parties prenantes aux problématiques liées aux échouements de sargasses.

SARGASSUM

SUB-REGIONAL OUTLOOK BULLETIN

SEPT 2020 | VOL 1 | ISSUE 6

Sargassum image sourced from Coastal Oceanography Laboratory, UNC. Click on the map above to access the source image.

The map above is a satellite image processed to show sargassum abundance over a 7-day period. Warm colours represent high sargassum abundance. Sargassum Watch System (SaWS) website: <https://optics.marine.usf.edu/projects/saws.html>

SARGASSUM INFLUX EVENTS WILL BE MILD TO MODERATE OVER THE NEXT 3+ MONTHS (SEPT-DEC 2020)

- The Eastern Caribbean islands have seen variable and moderate sargassum influxes over the third quarter of 2020 in the north, middle and southern islands. [Click here](#)
- The level of sargassum arriving has now decreased considerably.
- However, there is still 31% more sargassum visible out in the Atlantic than this time last year.

Sargassum abundance intensity level (based on image 4-10 Sept 2020)

CURRENT OUTLOOK (SEPTEMBER-DECEMBER 2020)

The islands of the Eastern Caribbean can expect sargassum influxes over the next 3+ months (red), especially when compared with the same period in 2019 (grey).

- Northern islands are set to receive mild to moderate influxes of sargassum until early October, and should be mild or clear until mid December when influxes will increase slightly.
- Middle islands are likely to continue experiencing moderate influxes through early October, and will be mild or clear until mid December when influxes will increase to moderate levels again.
- Southern islands are likely to continue experiencing moderate sargassum influxes to the end of September, and will be mild or clear until mid November when influxes will increase to mild levels.

Sargassum Sub-regional Outlook Bulletin
VOL 1 | ISSUE 6

Météo France

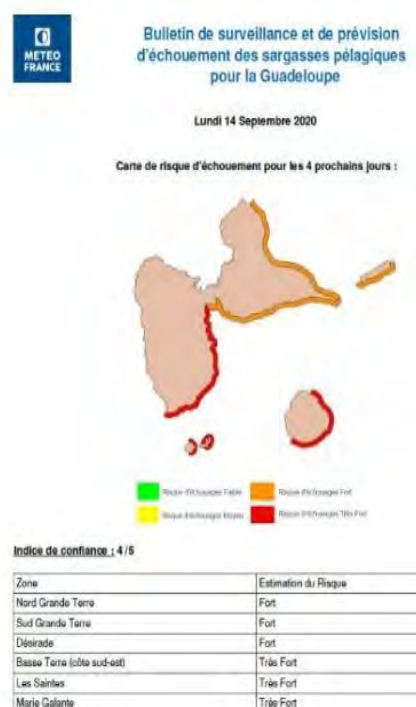
En 2018, dans le cadre du Plan National de lutte contre les sargasses, l'État Français a chargé Météo France de fournir un bulletin hebdomadaire à destination des collectivités locales et services de l'État. Il s'agissait de consolider les expériences antérieures menées notamment en Guadeloupe depuis plusieurs années, par un fonctionnement unifié à l'échelle des Antilles françaises réparties en 4 secteurs (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Saint-Barth et Saint-Martin).

Météo France s'est appuyé sur deux sous-traitants jusqu'en 2020 : CLS et Nova Blue Environment (NBE). CLS réalisait quotidiennement la détection des bancs de sargasses, puis la fournissait à Météo France. Le service de Toulouse applique alors le modèle de dérive MOTHY. Les prévisions sont ensuite envoyées au service R&D de la direction interrégionale Météo France en Martinique, qui les distribue à ses antennes locales. NBE a formé les prévisionnistes de Météo France Antilles-Guyane à l'interprétation à des images reçues (détection de faux signaux, incertitudes, lecture des dérives) au regard de leurs propres connaissances locales. NBE les a également aidés à définir une méthodologie pour la rédaction des bulletins, basée sur les retours des expériences antérieures. Les prévisionnistes analysent deux fois par semaine les données reçues quotidiennement et rédigent un bulletin, en principe hebdomadaire, en s'appuyant également sur des données complémentaires (observations directes, par caméras au sol...). Le rythme des bulletins s'adapte au contexte (plus rapproché en situation d'arrivée massive, plus espacé quand aucune détection).

Les bulletins présentent aujourd'hui une cartographie simple des côtes concernées, avec un indice de risque en 4 couleurs, un indice de confiance des prévisions (lié à la couverture nuageuse), une prévision pour les 4 prochains jours, une tendance sur 2 semaines, sur 2 mois. Ils sont illustrés par une image composite des détections des 7 jours précédents et des courants de dérive. Ils sont envoyés aux DEAL qui les utilisent et les publient à leur tour à leur propre rythme (immédiat en Guadeloupe par exemple).

En 2020-2021, Météo France est monté en compétence et s'appuie désormais sur son centre de météorologie spatiale à Lannion pour assurer la partie télédétection (en remplacement du travail effectué par CLS).

Les images Sentinel-2 ciblées sur certaines côtes sont utilisées ponctuellement en cas de besoin mais elles n'entrent pas dans les modèles de dérive.



SAMTool (CLS)

<https://datastore.cls.fr/products/sargassum/>

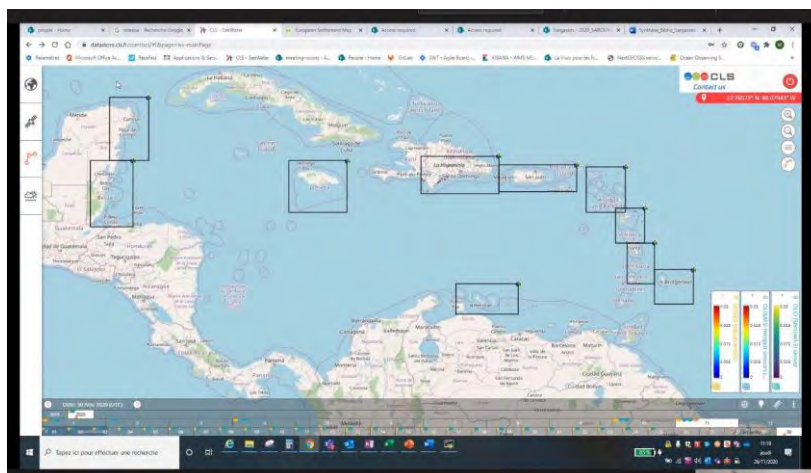
Spécialiste du satellitaire et de la surveillance des milieux marins, CLS a commencé à travailler sur l'adaptation de ses logiciels pour la détection et le suivi des sargasses en 2015. Après plusieurs contrats locaux et de recherche, l'entreprise a bénéficié de 2018 à 2020 d'un financement de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) afin de l'aider à développer une chaîne opérationnelle incluant un modèle de dérive et une plateforme Web de visualisation baptisé SAMTool. Ce contrat a été prolongé et s'est achevé fin 2020.

La chaîne opérationnelle s'appuie sur la télédétection des bancs de sargasse à l'aide d'images MODIS et OLCI (Sentinel-3) mais également Sentinel-2 et Landsat-8 près des côtes sur une dizaine de zones d'intérêt (îles et côte vénézuélienne). 6 satellites sont mobilisés. Ces données permettent une prévision des déplacements sur 4 à 5 jours via Mobidrift, le modèle de dérive mis au point par l'entreprise.

SAMTool permet de visualiser différentes informations sur une échelle de temps glissant sur 30 jours : la couverture nuageuse, les couches quotidiennes d'identification des sargasses ainsi qu'une synthèse hebdomadaire, les prévisions de dérive ainsi que des statistiques par zone (quelle masse de sargasse a été observée sur une zone de 20, 50 km par exemple) et des statistiques sur le niveau de détection (analyse du NFAI).

SAMTool a été testé pendant la saison 2020 par une cinquantaine d'utilisateurs, répartis dans tout le bassin caribéen. Des départements météo (Curaçao), des parcs nationaux (Bonaire), des départements environnement, des sociétés privées qui font de la collecte et valorisation des sargasses, des laboratoires de recherche (UWI CERMES) l'ont utilisé.

À la fin de son contrat avec Météo France, CLS s'est lancé dans une démarche commerciale pour proposer SAMTools à divers utilisateurs et a monté un consortium dans le cadre du SpaceClimateObservatory avec le laboratoire Caribéen des Sciences Sociales (LC2S), le CNRS, NBE et l'Université de Portsmouth afin de continuer à faire tester la plateforme, de recueillir les retours utilisateurs et de trouver un modèle économique viable.



SATsum

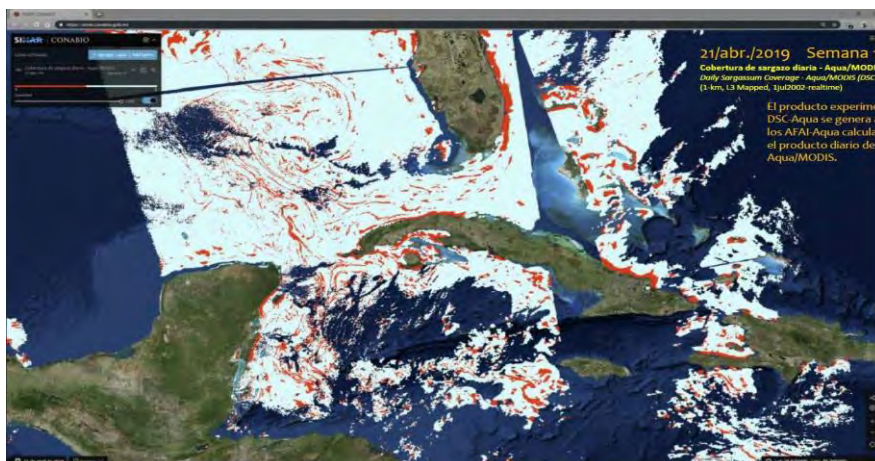
<https://simar.conabio.gob.mx>

En 2018, la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) a créé un système d'information et d'analyse maritime/côtier : SIMAR. Une plateforme Web fournit des informations sur la biodiversité marine en exploitant des données de surveillance via l'imagerie satellitaire : prévision de température de la mer, concentration en chlorophylle (couleur de l'eau), salinité, PH en superficie... Il s'accompagne d'un système d'alerte et bulletins très complets sur les risques qui pèsent sur les récifs coralliens. Simar couvre toute la zone autour du Mexique et la Caraïbe.

Un système d'alerte sur les sargasses (SATsum) est inclus dans Simar. Des images et compositions sont postées quotidiennement sur le site. Une couche des bancs de sargasses identifiée est produite basée sur l'analyse d'images MODIS et VIIRS (indice AFAI - alternative floatingalgae index). Une synthèse hebdomadaire de l'indice AFAI maximum est également produite chaque lundi. L'interface du site permet de choisir quel type de couche est affiché (MODIS Aqua – MODIS Terra – VIIRS ou la synthèse hebdomadaire). À l'été 2021, la présentation des couches d'information sur les sargasses va évoluer afin d'être plus adaptée à des publics moins experts. La synthèse hebdomadaire sera également produite quotidiennement sur 7 jours glissants. Ces détections de sargasses ne concernent que la pleine mer.

Un bulletin hebdomadaire peut être généré automatiquement et téléchargé directement depuis le site, sur l'ensemble du Golfe du Mexique et de la zone caraïbes en reprenant la synthèse hebdomadaire de chaque capteur.

La CONABIO travaille également sur d'autres sources satellitaires, afin de surveiller les sargasses à proximité des côtes. Une chaîne de traitement a été mise au point sur les images Sentinel à 20 m de résolution et des preuves de concept ont été réalisées par des institutions comme l'UNAM et l'UNACAR. Sentinel-3 est utilisé sur l'évaluation de la qualité des eaux. L'apport des images PLANET est également évalué pour la quantification des échouements sur les plages. Aujourd'hui cette approche le long des côtes est expérimentale mais devrait être opérationnelle en fin d'année 2021.



Sargassum Information Hub

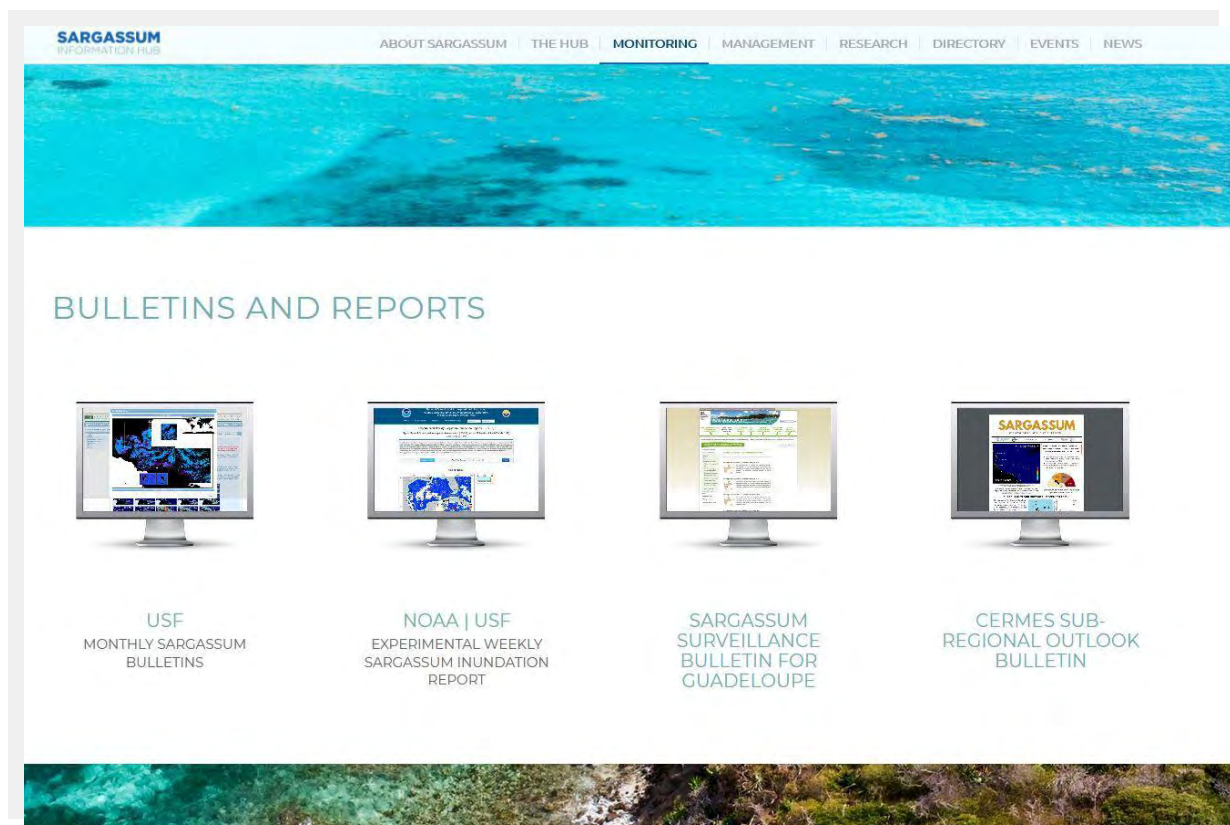
<https://sargassumhub.org>

Ce portail d'information a été développé récemment par GEO Blue Planet, IOCARIBE de l'IOC-UNESCO, AtlantOS et l'Atlantic International Research (AIR) Center.

Il fait partie d'un projet plus vaste visant à soutenir une approche intégrée de surveillance et de prévision des concentrations de sargasses sur la base de données accessibles au public, telles que des données satellitaires et des données in situ de pays ayant des politiques de partage de données ouvertes. Il s'attache également à promouvoir les meilleures pratiques pour gérer et utiliser les sargasses.

Il présente les enjeux sur les sargasses et répertorie les dispositifs de surveillance existants.

- Les observations in situ via le projet Sargassum Watch Epicollect et le formulaire PelagicSargassum Report.
- Les bulletins (USF, NOAA/USF, Météo France, Cermes)
- Les systèmes de surveillance (SaWS, SEAS, SamTool, NOAA CoastwatchOceanviewer)



Principaux enjeux et limites de la télédétection dans la surveillance des sargasses

Nuages, nuages...

Toute la zone Atlantique et caraïbe est régulièrement nuageuse, ce qui limite le recours aux satellites optiques. Ainsi, si un satellite Sentinel-2 acquiert théoriquement une image tous les 5 jours dans la zone caraïbe et un satellite Landsat-8 tous les 16 jours, de longues semaines peuvent s'écouler avant d'obtenir une image exploitable.

Le radar : un potentiel à étudier

Plusieurs équipes de R&D (publiques et privées) s'intéressent aux images des capteurs radar qui ont la capacité à pénétrer les nuages, notamment celles du satellite Sentinel-1. Mais la détection des sargasses par ce biais nécessite une haute expertise (les spécialistes des images radar sont peu nombreux) et doit être affinée afin d'être automatisée. L'intégration d'images radar dans la chaîne de traitement permettrait de confirmer le déplacement des bancs et donc de préciser leur dérive, d'en évaluer le volume.

Une détection encore imparfaite

La détection des bancs de sargasse par télédétection a tendance à sur-détecter (faux positifs) et s'appuie sur des satellites à faible résolution spatiale, ce qui limite la détection de petits bancs isolés. Des indices complémentaires peuvent être utilisés pour confirmer certaines détections (teneur en chlorophylle par exemple). Certains chercheurs étudient le développement d'algorithmes basés sur le machine-learning afin de trouver la combinaison optimale d'index à utiliser (multi-index) ou l'exploitation d'images radar.

Une quantification insuffisante

L'analyse par télédétection satellitaire, basée sur une vision verticale de l'océan, ne donne pas d'indications précises sur la masse des sargasses flottantes détectées au large. L'étendue des bancs est bien appréciée, mais pas leur volume, une information pourtant cruciale pour la prise de décision (mesures de protection, ramassage...). Ce point doit faire l'objet de recherches complémentaires. Là encore, le radar pourrait apporter des compléments d'information, ainsi que l'utilisation de drones (la multiplication des angles de vue favorisant la reconstitution de l'épaisseur des bancs). Cette dernière approche est développée dans le cadre du programme de recherche Sarg'Adapt piloté par le CERMES.

Une descente d'échelle complexe

La télédétection des bancs de sargasses sur des images à plus haute résolution (Landsat-8, Sentinel-2, Planet) obéit à peu près aux mêmes principes (avec quelques modifications dans les algorithmes liés aux canaux radiométriques à disposition) et s'avère efficace. Elle permet en outre de valider les prévisions issues des capteurs de moins bonne résolution. Cependant elle ne peut se substituer à l'analyse à basse résolution spatiale pour plusieurs raisons :

- Les satellites haute résolution n'acquièrent pas de données sur les zones océaniques. Ils n'en acquièrent que sur quelques dizaines de kilomètres au large des côtes. Les grandes zones de formation et d'accumulation des sargasses leur échappent.
- Elle génère une masse de données difficile à gérer (plus la résolution spatiale est fine, plus il faut d'images pour couvrir une zone déterminée).
- Leur disponibilité dans le temps (capacité de revisite) est bien inférieure à celles de satellites comme MODIS ou Sentinel-3. En principe, ils repassent tous les 5 jours (Sentinel-2) ou 16 jours (Landsat-8) au-dessus du même point sur la terre. Cette faible résolution temporelle se cumule avec le risque couverture nuageuse au moment de l'acquisition. Ainsi, sur certaines zones, il arrive qu'aucune image ne soit exploitable pendant plusieurs mois. Un système de surveillance opérationnel ne peut s'appuyer sur une source aussi volatile même si la multiplication des capteurs à haute résolution (constellation Planet, Digital Globe...) peut permettre de densifier les acquisitions. Mais se pose alors la question de l'accès (conditions commerciales et techniques) et de l'adaptation des algorithmes de détection à ces autres capteurs.
- La détection via des images haute résolution est forcément tardive pour l'alerte compte tenu de la cinétique des déplacements. Par contre, elle est déjà mobilisée pour confirmer les prévisions à échelle moins détaillées et pour améliorer les algorithmes de prévision (validation des observations).
- La détection reste complexe à proximité des côtes à cause de la turbidité de certaines eaux, de leurs changements de couleurs, ainsi qu'à cause des ombres portées des nuages, des côtes et des îles à certaines saisons.
- Les capteurs haute-résolution sont donc aujourd'hui mobilisés uniquement le long des côtes, en complément d'autres sources de données.

Des modèles de dérive à améliorer

Deux modèles de courants océanographiques sont aujourd'hui exploités : HYCOM et MERCATOR, qui fonctionnent tous deux à des échelles grossières. Malheureusement, ils peuvent donner des résultats antagonistes (directions opposées) selon les zones. Il semblerait que HYCOM soit mieux adapté à la zone Caraïbe, mais il mériterait d'être amélioré.

Les modèles de dérive, associent ces modèles de courant à une modélisation de la circulation atmosphérique (champs de vents). Le paramétrage entre l'impact des courants et des vents pour modéliser la dérive probable est difficile à faire car le rôle de chacun (courants/vents) varie selon les zones et les périodes de l'année.

De plus, ces modèles ne fonctionnent que sur les grandes masses d'eau. Aucun modèle n'est à ce jour efficace dans les zones proches des côtes, ce qui génère une incertitude pour des prévisions précises d'échouement le long des côtes, aux caractéristiques très variées.

Ce sujet reste à étudier mais nécessite de disposer d'une connaissance fine de la bathymétrie, ce qui est loin d'être le cas sur l'ensemble des côtes concernées (mesures inexistantes ou non diffusées). Plusieurs projets de recherche travaillent à trouver des modèles de dérive à haute résolution spatiale et temporelle le long des côtes, grâce à l'analyse des échouements réels passés, à l'utilisation de radars haute-fréquence...

Afin d'améliorer les modèles locaux, la NOAA s'appuie sur son réseau de stations radar HF et mène une analyse comparative entre les prévisions (SaWS) et les observations réelles (base de données des observations participatives, GPS sur bancs de sargasses).

Par ailleurs, le Ministère de la Transition Écologique français a signé une convention avec Mercator Océan International pour le développement d'un système régional permettant d'améliorer la résolution spatiale des modèles de prévision au niveau des côtes.

De plus, les modèles de dérive seuls ne permettent pas de faire des prévisions à long terme (saisonniers). Pour cela, une meilleure connaissance de la biologie des sargasses, des causes de leur développement, de leur comportement en haute mer... doivent entre autres être intégrés. Plusieurs projets de recherche travaillent sur ce point (Foresea, Sarg'Adapt...)

Des incertitudes qui se propagent

La chaîne de détection/simulation de dérive/évaluation/alerte comprend des incertitudes à chaque étape, qui ont tendance à se cumuler, ce qui limite la qualité du résultat final. Quel est le niveau d'incertitude acceptable ? Si 60 % des échouements annoncés se produisent effectivement, est-ce suffisant ? Une analyse fine de cette propagation des incertitudes est certainement à mener.

La nécessaire automatisation

Même s'il ne faut que quelques minutes pour détecter un banc de sargasse sur une image satellite pour un œil entraîné, l'enjeu est bien l'automatisation compte tenu de la surface concernée (zone atlantique comprise entre 15° Sud et 40° Nord) et donc de la masse d'images à traiter.

La diffusion d'une information opérationnelle

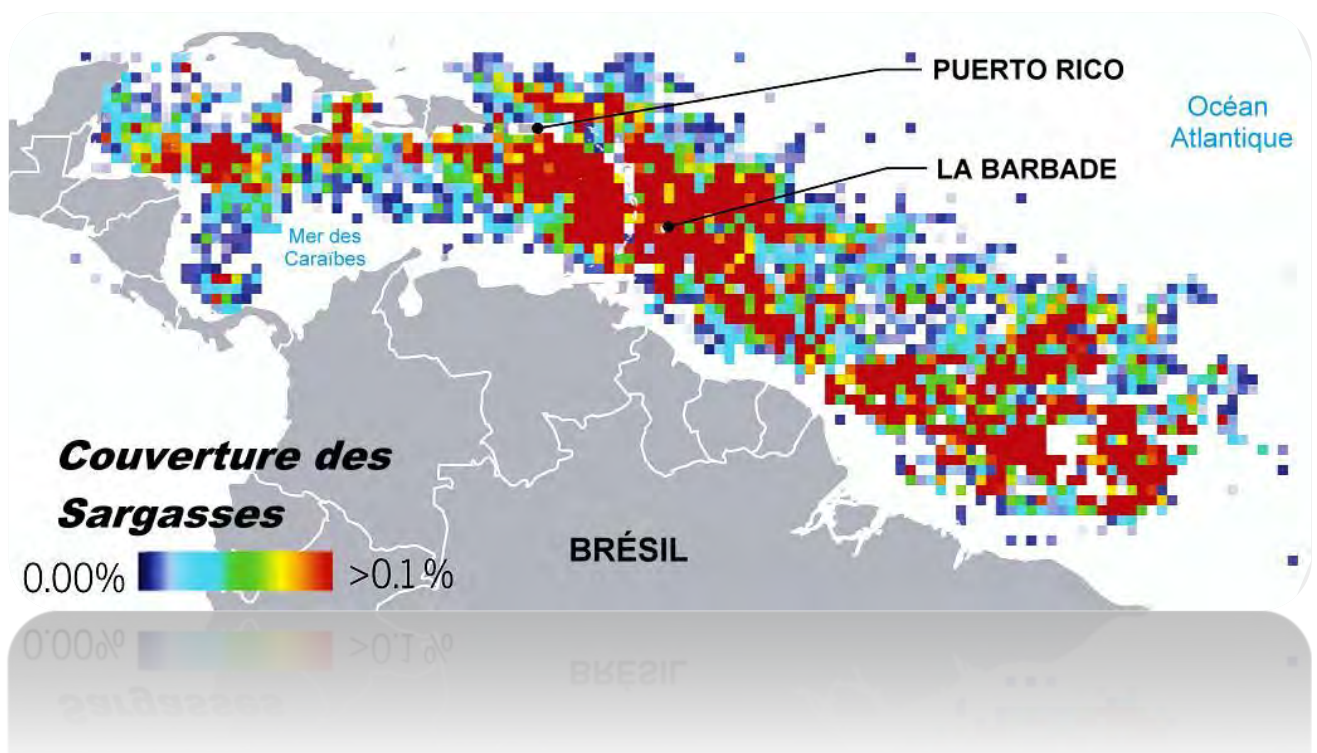
La rédaction de bulletins opérationnels de situation et de prévision, s'appuie sur une double expertise : la capacité à décrypter les analyses réalisées par télédétection

spatiale et la connaissance locale des côtes et des conditions météorologiques locales, etc. Pour cela, des observations complémentaires sont nécessaires : repérage des bancs dérivants par drone, hélicoptère, caméras sur les plages, observations citoyennes...

Des experts locaux doivent donc être formés, intermédiaires entre les spécialistes de la télédétection et les acteurs locaux (hôteliers, touristes...).

Le contenu même de l'information transmise (par exemple, un simple indice de risque à 3 couleurs qui indique où sont les zones plus ou moins couvertes de sargasses ou une cartographie détaillée ...) est à définir avec les différents profils de «lecteurs» concernés (un maire, un directeur d'hôtel et une entreprise de valorisation des sargasses n'ont sans doute pas les mêmes besoins). Des travaux sont en cours en lien avec les sciences sociales pour diffuser l'information la plus efficace possible, au bon rythme, en exploitant des indicateurs bien adaptés aux besoins des différents publics. Cette même question se pose dans l'éventualité du développement d'une application grand public.

@credit photo _ Digital campus live



Quelques travaux de recherche récents

Les principaux sujets de recherche

De nombreuses équipes de recherche travaillent sur les sargasses, leur détection, leur surveillance, la prévision des échouements à différents niveaux de détails, l'alerte.

Les principaux sujets d'étude sont :

- Détection : l'utilisation de sources satellitaires nouvelles, notamment la très haute résolution spatiale et le radar.
- Détection : le développement de nouveaux algorithmes de détection automatique des amas de sargasses en pleine mer et le long des côtes.
- Détection et prévision : la combinaison de sources satellitaires de plus en plus nombreuses pour pallier le manque de finesse spatiale et/ou temporelle.
- Détection et prévision : développement d'algorithmes utilisant le machine learning et le deeplearning, faisant appel aux observations passées pour fiabiliser les modèles.
- Prévision : l'association du satellitaire avec d'autres sources de données (participation citoyenne sous forme de photos, de notifications...) afin d'améliorer la prévision, de valider les modèles utilisés.
- Prévision : l'amélioration des modèles de prévision à différents pas de temps (prévision journalière, hebdomadaire, mensuelle à saisonnière) et le long des côtes. Pour cela, les chercheurs travaillent à l'amélioration des modèles de vents et de courants. Ils mobilisent également des bases de données historiques (repérage des échouements et déplacements passés sur les images satellites d'archive, photos sur place d'échouements passés) pour valider leurs hypothèses.
- Alerte : l'amélioration des formes de diffusion de l'information afin de la rendre accessible et adaptée aux besoins de toutes sortes de publics.
- Transversal : recherche d'une automatisation plus complète de la chaîne de traitement de la détection à l'alerte.

La plupart de ces travaux sont menés au sein de consortiums auxquels participent des acteurs privés et institutionnels (ministères, agences...). Ils s'appuient pour certains sur les systèmes de surveillance existants qu'ils peuvent ainsi améliorer. De nombreux projets mettent en place leur propre chaîne de traitement (récupération de données, détection des sargasses, prévisions, etc.).

Projet CESAR

Environnement côtier sous la pression des sargasses – CESAR

Lauréat de l'appel à projets ANR lancé en 2019 sur les sargasses, CESAR réunit plusieurs partenaires.

- LC2S Laboratoire Caribéen de Sciences Sociales
- BOREA Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques
- MF DIRAG Météo France
- LPED Laboratoire Population Environnement Développement
- CLS Collecte Localisation Satellites
- UPM Universidade Presbiteriana Mackenzie

Les travaux doivent commencer en 2021 et vont apporter de nouvelles connaissances sur plusieurs points.

- Améliorer la détection des bancs de sargasse en faisant appel à plusieurs capteurs satellites.
- Améliorer la prévision des déplacements, notamment aux échelles les plus fines (à proximité des côtes). Pour cela, les travaux visent à prendre en compte la biologie des sargasses (leur composition mais également leur rythme de croissance, leur mortalité en lien avec la qualité des eaux selon différentes zones géographiques) dans les modèles de dérive (modèles spécifiques à l'échelle locale).
- Mener une analyse rétrospective en comparant les prévisions déjà effectuées (base de données des observations) et les échouements réels qui ont déjà eu lieu. Pour cela, des algorithmes seront développés pour traiter massivement des images Sentinel-3 et Sentinel-2. Ainsi, le niveau de précision des systèmes actuels pourra être précisé.
- Prendre en compte les enjeux et impacts (économiques, sociaux, humains, écosystèmes côtiers...) dans le calcul des risques d'échouement via des indicateurs coconstruits avec les acteurs locaux (aide à la décision, adaptation de la réglementation).
- Développer et mettre en ligne des algorithmes et des ressources méthodologiques ouvertes pour faciliter la diffusion des connaissances.
- La dissémination passera par la mobilisation de toutes sortes d'acteurs (comité martiniquais du tourisme, sénat, assemblée nationale, Martinique développement, Géomartinique)

FORESEA

FOREcasting seasonal Sargassum Events in the Atlantic

Lauréat de l'appel à projets ANR lancé en 2019 sur les sargasses, FORESEA rassemble 30 scientifiques dans 9 centres de recherche, spécialistes de télédétection, de

modélisation océanique, d'observations in-situ, de modèles de prévision probabilistes et mécaniques

FORESEA vise à développer la capacité à faire des prévisions saisonnières à l'échelle de la zone tropicale, mais également localement, en comprenant mieux la dynamique des sargasses.

Des travaux sont prévus pour améliorer les systèmes de détection (synergies entre capteurs), identifier les « chemins » des sargasses en proximité des côtes par haute résolution.

Un modèle de dérive tenant compte de la physiologie des sargasses (biomasse) sera développé, là encore, en utilisant les archives d'images satellites.

SASAMS (Satellite Sargassum Monitoring System)

<http://sasams.org>

SASAMS est un projet de recherche financé par l'Agence spatiale britannique, piloté par l'Université de Nottingham, lancé en septembre 2020.

Y participent diverses institutions et organisations comme l'UNAM, Centrogeo, Conabio, IPE Triple line, Spectro Natura, Université de Nottingham

L'objectif du projet est focalisé sur la surveillance à court terme et le long des côtes, en complément des prévisions à moyen terme et à moyenne échelle effectuées en haute mer. Le projet est centré sur les côtes mexicaines du Yucatán. Il fait appel à des images satellitaires Sentinel-2, plus détaillées, mais également à celles provenant de Planet.

L'UNAM et l'université de Nottingham ont travaillé sur des preuves de concept de détection automatique des sargasses proches des côtes à l'aide d'images Sentinel-2 et Planet (jusqu'à 3 m de résolution) ainsi que sur l'évaluation de leur volume via l'introduction d'images radar dans le processus. La validation de l'algorithme de détection s'est faite grâce aux informations sur les échouements passés provenant de différents projets comme Collective View, [Natura Lista](#), le RED de Monitoreo (photos localisées et datées).

Dans la deuxième phase dite opérationnelle (qui n'a donc pas commencé), un partenariat avec Planet est envisagé.

L'objectif est d'ajouter une brique à Simar (CONABIO) en étendant les capacités d'information et d'analyse le long des côtes.

Par ailleurs, les besoins des acteurs de terrain y sont analysés et un prototype de plateforme d'information est en cours de développement.

Collective View

Présentation du projet :

https://docs.google.com/presentation/d/1ICJDwjABVTXwxsziTr4C4Blr9gVZCZ1wOL7tbF9CTvs/edit#slide=id.g6ecf1856f2_0_150

Collective View est un projet de recherche, mené à la station de réception Eris Chetumal par le département observation et étude de la terre, de l'atmosphère et de l'océan. Il se compose de 2 parties : une plate-forme web et une application mobile de collecte de données.

Le principe est de s'appuyer sur les photos acquises par des volontaires pour géolocaliser et calculer les étendues de sargasses échouées sur les plages du Yucatán / Quintana Roo, grâce au développement d'algorithmes de segmentation sémantique des photos. Plusieurs associations et réseaux sociaux ont relayé et ont utilisé l'application : Playas sin sargazo Riviera Maya, Red de monitoreo del Sargazo Cancún, Red de Monitoreo del Sargazo Tulum, etc.

Environ 5 000 images ont été acquises, géotaggées et classifiées manuellement par différents volontaires (présence ou absence de sargasses) afin d'entraîner un algorithme capable de calculer automatiquement la superficie de sargasses sur chaque plage concernée en s'appuyant sur les métadonnées des photos (heure, géolocalisation mais également angle de prise de vue). Aujourd'hui, les traitements se font en 24 heures mais peuvent être plus rapides en période de crise. Photos et données sont intégrables dans un SIG.

Le groupe travaille aujourd'hui à l'évaluation des volumes, en combinant la superficie via les photos issues de l'application à des orthophotographies acquises par drones et des images satellitaires (Sentinel-2) acquises le long des côtes.

150 personnes ont participé concrètement au projet, dont 80 qui ont réalisé les premières classifications, et 70 à 80 qui ont téléchargé l'application et pris des photos. Plusieurs organismes utilisent la plateforme web (hôteliers, secrétariat environnement de Quintana Roo...). Une aide précieuse est venue d'un groupe de conservation des tortues, très concerné par les échouements de sargasses.

À noter que les photos déjà acquises peuvent servir de validation des processus satellitaires, car la validation locale est nécessaire compte tenu de l'hétérogénéité des côtes. L'application peut être en partie réutilisable et alimenter d'autres projets de recherche.

Sargassum Watch

<https://five.epicollect.net/project/sargassum-watch>

Projet mené par un laboratoire de l'université internationale de Floride (MMR-FIU) qui constitue un réseau d'observations volontaires des échouements de sargasses dans les Caraïbes et en Floride. Une base de données de photos géolocalisées est accessible (<https://five.epicollect.net/project/sargassum-watch/data>).

Sarg'Adapt

<https://www.cavehill.uwi.edu/cermes/projects/sargassum/sargadapt.aspx>

Projet du Caribbean Biodiversity Fund Ecosystem based Adaptation Facility avec des financements de l'International Climate Initiative (IKI) du ministère de l'Environnement allemand, Nature Conservation, and Nuclear Safety through KfW. Piloté par le CERMES, le programme vise à développer les connaissances ainsi que la capacité des populations touchées à s'adapter au contexte des sargasses. Dans ce cadre, un travail est mené sur l'utilisation de drones pour évaluer les quantités de sargasses échouées (superficie et volumes). Il est centré sur les îles de Dominique, Sainte Lucie, Saint Vincent et les Grenadines, Grenade et Barbade.

SARTRAC :

Teleconnected SARGassum risks across the Atlantic: building capacity for Transformational Adaptation in the Caribbean and West Africa

<https://www.sartrac.org/>

Commencé en 2019 pour 3 ans, le projet SARTARC associe l'université de Southampton, l'université des Indes Occidentales, campus de Mona et de Cave Hill (UWI CERMES), l'université du Ghana, l'université de York.

Le projet vise à identifier les facteurs expliquant les échouements, à développer des solutions de surveillance transférables aux régions concernées (prototype pour les côtes Ghanéennes notamment) ainsi qu'à identifier les processus d'adaptation et de gestion des échouements (valorisation). Le « work package » dédié à la surveillance, vise à développer un système d'alerte qui s'appuie sur la télédétection des sargasses proches des côtes à l'aide d'images haute résolution (Planet) sur lesquelles sont appliquées des algorithmes de machine learning. La validation des détections se fera à l'aide d'images acquises par drones.



Tracking Sargassum

Image taken by Ulises Jauregui, Playa Nigua, Dominican Republic (May 2020)

Conclusions

En pleine mer

Même si les algorithmes sont toujours améliorables et font l'objet de travaux de recherche, la télédétection des bancs de sargasses en haute-mer sur l'ensemble de la zone, fonctionne techniquement et elle est opérationnelle. Des systèmes comme SawS ou SatSum mettent en ligne différents produits d'information qui couvrent toute la zone à une échelle grossière. La France dispose de sa propre chaîne de traitement sur les Antilles. CLS commercialise un outil de type portail (SAMTools).

La prévision de la dérive des bancs ainsi identifiés est également possible, mais elle est loin d'être parfaite. La connaissance sur la biologie des sargasses doit être améliorée pour des prévisions saisonnières. Les modèles de vents et de courants ne donnent pas tous les mêmes résultats.

Ces analyses à grosses mailles font l'objet de bulletins de situation, qui sont à leur tour réutilisés pour produire des bulletins d'alerte plus précis, car la nature des informations transmises n'est pas directement utile aux acteurs de terrain.

Le long des côtes

L'utilisation d'images satellites de meilleure résolution fait l'objet d'expérimentations et de nombreux travaux de recherche, afin d'obtenir des bons taux de détection. Elle permet de compléter les détections en haute mer. Aujourd'hui, elle peut entrer localement dans des chaînes opérationnelles, en complément d'autres sources d'information, mais le volume de données limite une utilisation élargie à l'ensemble des côtes de la Caraïbe.

En l'absence de modèles de dérives à échelle locale, les prévisions locales d'échouement (à l'échelle de la page) s'appuient sur les bulletins de situation généraux, sur des détections sur des images haute-résolution mais surtout sur d'autres sources d'information. À ce niveau, caméras, levés par drones, sciences participatives... sont cruciaux.

La diffusion de bulletins d'alertes locaux aux autorités est opérationnelle dans les Antilles françaises. Plusieurs initiatives émanant de la société civile existent, notamment au Mexique (Red de Monitoreo).

Il reste donc beaucoup à faire afin d'améliorer la précision des prévisions et apporter la bonne information à tous : entreprises, politiques, associations, touristes et habitants, organisations non gouvernementales des régions touchées. Tous les pays concernés développent des projets de recherche, de technologie et de diffusion qui devraient permettre, à court, moyen et long terme, de comprendre et de mieux affronter ce phénomène de manière globale.

Ce document a été rédigé dans le cadre du programme SARG'COOP par Françoise de Blomac, DécryptaGéo, avec l'aide des membres du groupe de travail télédétection pour le compte du Conseil Régional de Guadeloupe.



RÉGION GUADELOUPE

Avenue Paul Lacavé, Petit-Paris

97100 BASSE-TERRE

Tél. 0590 80 40 40



@REGIONGUADELOUPE #CRGUADELOUPE

WWW.REGIONGUADELOUPE.FR